

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.И. Польшкин; Обогащение руд и россыпей редких и благородных металлов, М., Недра, 1987. – С. 187-244.
2. Ле Ван Дат, Нгуен Ван Хуен и Фам Си Дуонг; Некоторые новые результаты исследований на россыпи Титана;
3. Нгуен Динь Лан, Ха Тинь Минерал и Трейдинг Корпорейшн, 1997. Разведка ильменита в прибрежных районах Ха Тинь. Геологический архив, Ханой.
4. Нгуен Ван Хуиен (редактор), Геологическая федерация 4, Отчет за 1992 год Поиск и оценка месторождений минерального песка титана вдоль Камсюен - Ки Ань, Ха Тинь. Геологический архив, Ханой.
5. Нгуен Тиен Дунг, Тран Тхи Ван Ань; Особенности распределения рудного минерала в прибрежных песчаниках в провинции Туа Тхиен Хюе и их влияние на выбор сети геологоразведочных работ; Научно-технический журнал по горному делу и геологии, 2012; стр. 13-22.

Ли Кэянь (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Вавилова Галина Васильевна, к.т.н., доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИИ ПРОВОДА

В окружающем нас мире широкое применения находят электрические провода, от качества которых напрямую зависит качество и безопасность их применения. Качественный провод не должен иметь ни одного дефекта. Под дефектом понимается любое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям [1].

Провод может иметь следующие виды дефектов изоляции [2]: включение инородных частиц, сдир изоляции, пористая изоляция, эксцентричность и т.д.

Наличие любого из указанных дефектов приводит в первую очередь к изменению геометрических размеров. Для исследования различных дефектов изоляции часто используется моделирование. Моделирование позволяет минимизировать затраты на создание реальных образцов с различными геометрическими размерами, но при этом повысить

эффективность исследования за счет разнообразия моделей различных видов и размеров дефектов.

Модель одножильного провода в виде цилиндрического конденсатора, у которого жила провода диаметром d рассматривается как одна обкладка конденсатора, внешней границе изоляции провода диаметром D – как вторая. Диэлектрическая проницаемость ε определяется материалом изоляции провода. Длина образца провода равна L . ε_0 – электрическая постоянная, $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

Емкость подобного конденсатора можно рассчитать по известной формуле [3]

$$C = \frac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot L}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} \quad (1)$$

Цель работы заключается в определении геометрических размеров дефектов изоляции значимо влияющих на изменение погонной емкости электрического провода, как на один из его основных параметров.

Для моделирования используется одножильный провод. Параметры: диаметр жилы $d = 1$ мм, диаметр изоляции $D = 3$ мм, диэлектрическая проницаемость полиэтилена $\varepsilon = 2,3$. Длина провода $L = 20$ см берется равной длине зоны измерения прибора для технологического контроля емкости [4].

Допустимое отклонение емкости провода от номинальной емкости бездефектного изделия при моделировании составляет 5%. Это значение связано с точностью измерительных приборов, применяемых для технологического контроля емкости [4] и требований нормативно-технической документации, используемой при производстве проводов [5].

В предыдущей работе рассматривались изменение диаметра жилы и изоляции, а также локальное утонение диаметра (внешний дефект) [3]. В работе моделируются следующие виды дефектов: эксцентричность, инородного включения (внутреннего дефекта). Все расчеты проводятся в среде Mathcad.

Эксцентричность – это отклонение центра жилы от центра провода. На рисунке 1 показано смещение (а) и модель (б) для расчета емкости провода.

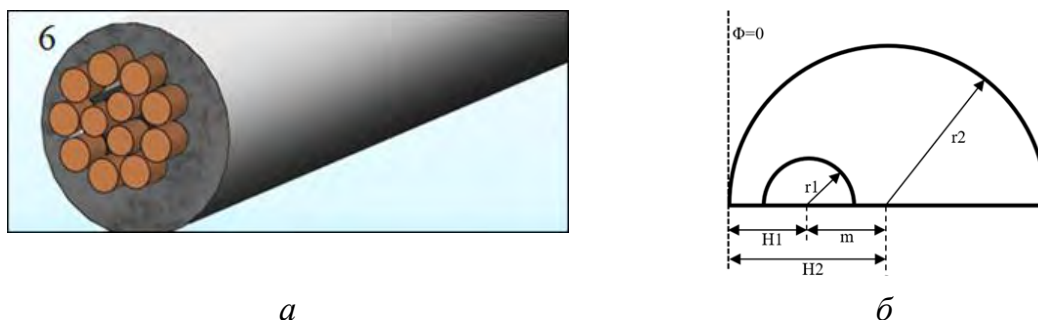


Рис. 1. Эксцентricность провода

Из формулы (1) на основе математического анализа рис. 2б можно вывести формулу зависимости емкости от размера смещения жилы относительно центра провода:

$$C(m) = \frac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln \left(\frac{H_2 r_2}{H_1(m) \cdot r_1} \right)} \quad (2)$$

где r_1 , r_2 – радиус жилы и радиус изоляции, мм;

m – эксцентricность, мм;

H_1 , H_2 – расстояние от центров до оси, мм.

Если принять, что $H_2 = r_2$, то $H_1(m) = r_2 - m$.

Зависимость емкости провода от смещения жилы относительно центра провода m в диапазоне от 0 до 1 мм показана на рисунке 2а. На рисунке 2б – зависимость относительной погрешности емкости провода от смещения жилы. Для определения предельного значения используется горизонтальная сплошная линия ($\Delta_0 = 5\%$) (и на следующих рисунках) соответствующая значимому изменению емкости провода.

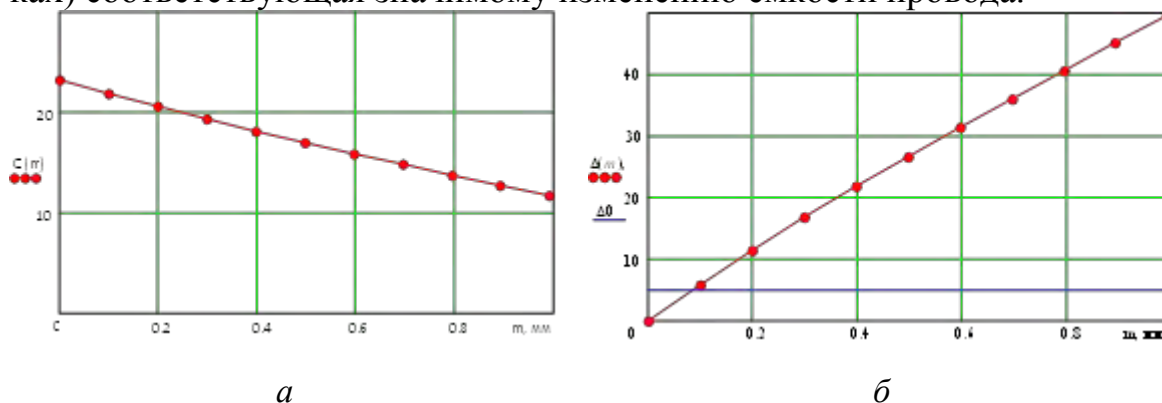


Рис. 2. Зависимость емкости провода и относительной погрешности от эксцентricности провода

Анализ рисунка 2 показывает, что значимое изменение емкости провода наблюдается при смещении жилы более чем на 0,1 мм от центра провода (т.е. 10 % от диаметра жилы).

Инородное включение. На рисунке 3 показана модель дефекта – Инородное включение в изоляции провода. Для простоты моделирования взят участок внутри изоляции по всей длине окружности. Размер дефекта определяется длиной и радиусом внутренней и внешней поверхности дефекта. Рассматривается вариант, когда внутреннее пространство дефекта заполнено воздухом с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_1 = 1$.

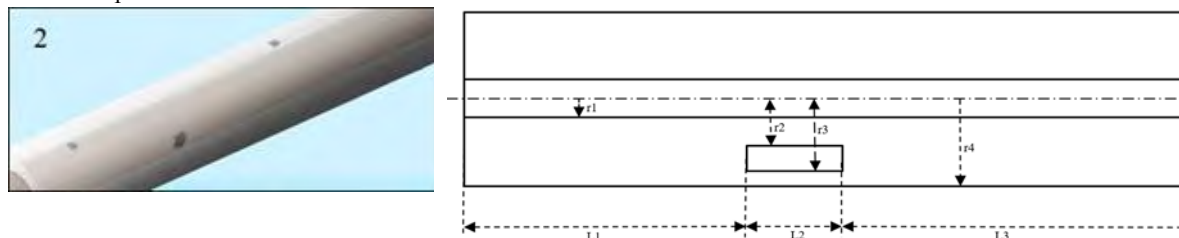


Рис. 3. Модель дефекта «Инородное включение»

Расчет емкости подобного дефекта можно рассчитать на основе классической формулы для цилиндрического конденсатора (1) с учетом рекомендации из литературы [3]:

$$C = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot (L_1 + L_3)}{\frac{1}{\varepsilon} \ln\left(\frac{r_4}{r_1}\right)} + \frac{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot L_2}{\frac{1}{\varepsilon} \left(\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right) \right) + \frac{1}{\varepsilon_1} \ln\left(\frac{r_3}{r_4}\right)}, \quad (3)$$

где r_1 и r_4 – радиусы жилы и изоляции, мм;

r_2 и r_3 – радиусом внутренней и внешней поверхности дефекта, мм.

На рисунке 4 показана зависимость емкости и относительной погрешности от длины внутреннего дефекта в диапазоне от 0 до 5 см при фиксированной толщине дефекта $h = r_3 - r_2 = 0,4$ мм.

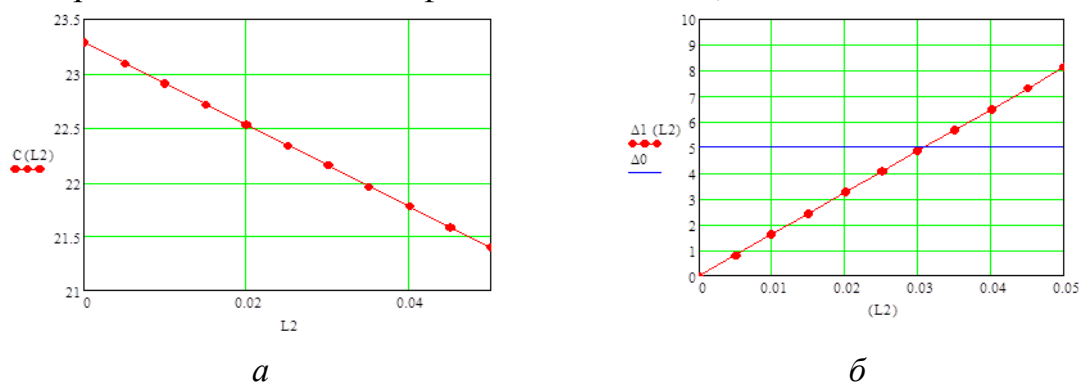


Рис. 4. Зависимость емкости провода и относительной погрешности от изменения длины внутреннего дефекта

Анализ рисунка 4 показывает, что значимое изменение емкости провода наблюдается при изменении длины дефекта провода более чем 3 см, что составляет более 6 % от объема изоляции бездефектного провода

На рисунке 5 показана зависимость и относительной погрешности емкости от толщины внутреннего дефекта h в диапазоне от 0 до 0,5 мм при фиксированной длине дефекта $L_2 = 3$ см

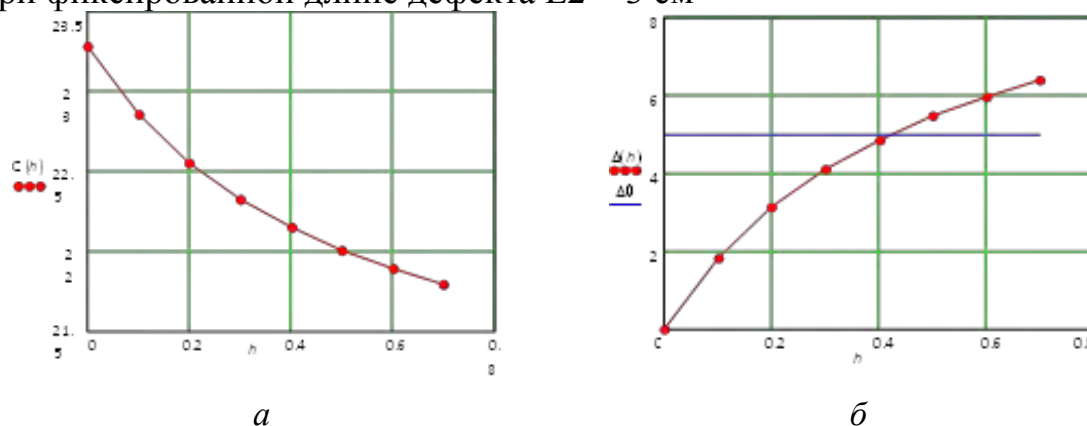


Рис. 5. Зависимость емкости провода и относительной погрешности от изменения толщины внутреннего дефекта

Анализ рис. 5 показывает, что значимое изменение емкости провода наблюдается при изменении толщины дефекта провода более чем 0,4 мм, что составляет более 4 % от объема изоляции бездефектного провода.

Заключение.

Моделирование позволяет проводить более сложные исследования влияния различных видов дефектов изоляции на значение емкости провода без материальных затрат.

Значимое изменение емкости провода (в 5%) достигается при наличии эксцентricности от 10 % от значения диаметра жилы; при изменении объема внутреннего дефекта относительно общего объема бездефектного провода в 6% при увеличении длины дефекта и в 4 % при увеличении толщины дефекта.

В дальнейшем будут продолжены исследования по изучению влияния других видов дефектов и их геометрических размеров на значение емкости провода, что позволит сделать выводы о возможности обнаружения различных видов дефектов при проведении технологического контроля емкости провода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рюмкин А.В., Вавилова Г.В. Выявление локальных дефектов изоляции провода с помощью измерителя емкости // Сб. материалов XVII международной научно-технической конференции «Измерение, контроль, информатизация». – 2016. – С. 169-172.

2. Vavilova G.V., Ryumkin A.V. Detection of insulation defects in the wire through measuring changes in its capacitance //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2018. –№ 6– С. 012017.
3. Иоссель Ю.Я., Кочанов, Э.С., Струнский. М.Г. Расчет электрической емкости – Л.: Энергоиздат, 1981. - 288 с.
4. Вавилова Г.В., Гольдштейн А.Е. Прибор для технологического контроля погонной ёмкости электрического провода // Измерительная техника. – 2018. – № 3. – С. 46-50.
5. ГОСТ 11326.0-78. Радиочастотные кабели. Общие технические условия. [Электронный ресурс] – Введ. 1981.01.01. –Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/8070/> (дата обращения 15.03.2020).
6. Ли К., Исмагилов А. Контроль наличия дефектов провода по изменению электрической ёмкости// Сб. докладов IX Всероссийской научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских ВУЗОВ». – ТПУ –. 2019. – С. 99-105.

Ли Цзин (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Леонов Андрей Андреевич, инженер

ПОЛУЧЕНИЕ АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ И НАНОВОЛОКНАМИ Al_2O_3 КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ZrO_2 С ПОВЫШЕННОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬЮ

Введение. Керамика обладает такими свойствами, как высокая твердость, термостойкость, химическая инертность, благодаря чему она используется во многих областях промышленности и медицины [1-3]. Однако низкая трещиностойкость керамики, ограничивает ее применение в некоторых случаях. Для повышения трещиностойкости керамики используют различные армирующие добавки, в частности углеродные нанотрубки (УНТ) и нановолокна Al_2O_3 [4]. Целью работы является получение композитов на основе ZrO_2 с одностенными углеродными нанотрубками (ОУНТ) и нановолокнами (НВ) Al_2O_3 с повышенными механическими свойствами.

Материалы и методы исследования. В качестве исходного сырья для создания композитов использовали нанопорошок частично стабили-